农业科学数据可信溯源框架构建与应用研究

陆丽娜[1]，尹丽红[1]，于啸[2]，张文韬[1]
1. 山东理工大学 管理学院，淄博 255000；
2. 山东理工大学 计算机科学与技术学院，淄博 255049

摘要：【目的/意义】为顺应农业科学数据高质量管理趋势，以保证农业科学数据溯源的透明度与可信性为目标，构建一个基于区块链的农业科学数据可信溯源的概念框架。【方法/过程】基于当前的可信溯源需求及相关理论，构建了四层的农业科学数据可信溯源框架 FRTASD。【结果/结论】该框架从逻辑上为农业科学数据的可信溯源提供了一种新的研究思路，同时通过调研农业科研网站进行了水稻科学数据可信溯源的尝试。

关键词：区块链；农业科学数据；数据溯源；溯源模型；框架
分类号： G353.1

1 引言/Introduction

发展农业新质生产力是建设农业强国的重要抓手，要创新农业科技资源配置，其中农业科学数据成为农业新质生产力的重要一环。2024 年中央一号文件指出“强化农业科技支撑。优化农业科技创新战略布局，支持重大创新平台建设。”区块链等为代表的可信溯源技术赋能智慧农业成为农业创新发展的重要战略路径。但是，农业科学数据质量安全问题面临诸多挑战，比如数据滥用、盗取、泄露等问题成为制约数字农业经济高质量发展的重要因素，如 2004 年“大豆洗船事件”中，境外机构通过分析评估我国农产品的种植和储备数据等，致使我国失去大豆主要生产国地位，至今仍对我国农业产业发展产生负面影响。另外，农业科学数据分级分类标准不一致，缺乏数据统一标准导致难以进行有效管控，由此导致数据非授权访。区块链技术以其去中心化、不可篡改和透明性的特点，为数据溯源提供了新的解决方案。因此，需要利用区块链和数据溯源技术，对农业科学数据采集、组织、存储、共享、复用等环节进行记录和监管，防止农业科学数据在流通中被篡改，以满足大数据时代用户对农业科学数据的需求，使农业科学数据的价值得到充分的体现。同时，一系列科学区块链的基础设施已经上线，包括：Bloxberg、ScienceChain、Open Sceince Chain 等。伴随着科学区块链等基础设施的不断完善及国家政策的保障，实现农业科学数据可信溯源成为可能[1]。

农业科学数据可信溯源框架的构建有利于在农业科学数据溯源过程中建立整体规划，从宏观上指导农业科学数据溯源科学、有序的进行，从而保证农业科学数据溯源的透明度与可信性。当前，对于农业科学数据溯源的应用研究成果大多集中在农业食品供应链中，对农业科学数据本身的溯源研究的相对不多。

本文系国家社会科学基金一般项目 “数智创新生态系统中农业科学数据治理机制及实施路径研究”（项目编号：24BTQ031）的研究成果之一。

作者简介：陆丽娜，教授，博士，硕士生导师；尹丽红，硕士；于啸，副教授，博士，硕士生导师，通信作者，E-mail:3050651@qq.com；张文韬，硕士研究生。

2 相关研究述评/Review of related research

2.1 区块链技术与科学数据溯源

区块链具有不可篡改、可溯源性等特点，学者们对区块链赋能科学数据溯源展开了相关研究。A. Ramachandran 等利用区块链设计了一个平台 Smart Provenance，利用智能合约和开放的出处模型（OPM）来记录不可变的数据踪迹[2]。V. Dedeoglu 等基于区块链提出了一个分层架构，用于改善端到端之间的信任，提高物联网收集数据的可信性[3]。L. Cao 等针对不同信任场景下数据共享的跨域数据溯源问题，提出一种跨域访问的数据溯源机制 [4]。X. Liang 等提出了一个基于区块链的云环境安全管理模型 ProvChain，确保云存储应用程序中数据操作安全性的同时增强隐私性和可用性，实时监测用户操作并收集溯源数据，实现实时云数据安全溯源[5]。S. Ali 等由于物联网设备向云中传输数据的过程中存在安全问题，利用区块链智能合约，提出面向云的物联网安全数据溯源框架[6]。徐堃等认为云存储存在安全漏洞，将区块链应用于云存储安全研究成为一种趋势[7]。魏银珍等基于智能合约和开放溯源模型(OPM)提出了 SciDataProv 溯源系统模型[8]。赵丽梅提出了基于区块链的科学数据溯源体系[9]。刘海鸥[10]等提出了基于区块链溯源的一系列机制，机制的建立有利于指导区块链在农业科学数据溯源的应用。张学旺等针对区块链溯源中验证溯源信息存储占用较多空间的问题，提出了一种基于区块链的可信数据溯源方案[11]。

2.2 区块链技术与农业科学数据溯源

目前，区块链在农业科学数据溯源的应用研究刚刚起步。W. Ren [12]等基于区块链设计了农业样本数据链（ASDC），保护农业采样数据在溯源和存储时的安全性。S. Yang [13]等提出了一种基于可编辑区块链的农业溯源数据管理方案，可实现对数据隐私保护、安全共享。T. Griffin 等将区块链应用于棉花数据溯源管理中，用于跟踪农业产量监测数据，提高了农业数据质量和安全性[14]。M. Torky [15]全面探讨了区块链和物联网在精准农业智能应用开发中的重要性，提出了新颖的区块链模型，可用作基于物联网的精准农业系统中重大挑战的重要解决方案。K. Demestichas[16]探讨了区块链在农产品追溯系统中的应用。陈林蔚[17]针对智慧农业中的数据安全和溯源问题，应用区块链技术设计了智慧农业应用框架，实现农业数据实时监控和溯源追踪。李阳等[18]应用区块链技术设计了种植资源登记和溯源方法，实现种质资源全生命周期中各个环节信息的可信存储、登记与溯源访问。许继平等[19]以小麦为例，构建了小麦质量安全可信溯源模型，保证了数据的可靠性。

综上所述，将区块链应用于科学数据溯源场景实现可信溯源已有一定的研究成果，其中，区块链在科学数据溯源中的研究成果大多集中在理论研究，包括模型、框架及机制的研究，区块链在农业科学数据溯源中的研究成果则是主要关于某一农作物的科学数据溯源的应用研究，将区块链集中应用于农业科学数据溯源数据的采集、标准化、存储、查询验证等方面鲜有研究，同时，对农业科学数据

可信溯源的框架还没有建立起来，因此本文将基于区块链设计了农业科学数据可信溯源框架，该框架从理论上梳理了农业科学数据可信溯源的构成要素及相互关系，同时，在水稻数据可信溯源方面做了一些尝试，以期验证研究框架的合理性。

3 农业科学数据溯源需求分析/ Analysis of requirements for traceability of agricultural science data

3.1 农业科学数据溯源内容描述规范

农业科学数据溯源数据来源多样，数据格式不统一，同时，也存在着机器不可读、互操作水平较低等问题[20]，因此，为了提高农业科学数据溯源数据的互操作性，需要对农业科学数据溯源内容描述采用规范性的语义表达，描述出农业科学数据流转过程中涉及的主体信息、数据活动信息以及权属关系等。农业大数据标准化工作的重要性不言而喻，只有从溯源源头上解决数据描述规范化的前提下，才能进行后续的农业科学数据溯源。

3.2 农业科学数据溯源数据高效存储

随着农业科学研究的不断深入，面临着农业科学数据爆炸式增长这一巨大挑战，海量的农业科学数据会导致传统计算机难以存储[21]，如何对农业科学数据溯源信息进行高效存储是亟需解决的问题。此外，农业科学数据大部分来源于农业科学实验，通过物联网设备进行采集，在农业科学数据流通的环节中，存储的农业科学数据规模会不断增加，但是当前区块链技术存储性能难以满足系统数据存储的需要，因此，需要确定一种更为高效的农业科学数据存储方案，便于农业科学数据溯源数据安全存储管理。

3.3 农业科学数据溯源数据安全保护

农业科学数据全生命周期中会涉及类型多样且数量众多的安全实体。在用户层面，有数据收集者、数据使用者、第三方专家等多种类用户，但是其缺乏稳定性和可控性，给农业科学数据管理带来了安全挑战[22]；在应用层面，如第三方应用——云服务提供商可能为了利益违规操作数据[23]；在数据层面，农业科学数据的隐私安全涉及到隐私泄露问题。因此，需要确定一种方案保证农业科学数据溯源数据的可信性和安全性。

4 理论基础/ Theoretical basis

4.1 农业科学数据溯源

数据溯源（Data Provenance）最早出现在 20 世纪 90 年，当前还没有公认的定义，在不同领域有着不同的定义[24]。戴超凡等[25]将数据溯源定义为记录数据在整个生命周期内所发生的变化和经过处理的信息；在数据科学领域，王芳等[26]定义数据溯源为记录数据流转过程中产生的动态信息，帮助科研人员清晰地了解数据的来龙去脉，基于自己的需求和研究目的来决定是否使用该数据。全国标准信息服务平台中指出数据溯源技术再现数据流转过程，是一种评估数据质量和数据可靠性的有效解决思路。结合以上定义，本文认为农业科学数据溯源是对农业

科学数据的源头数据以及后续农业科学数据流转过程中的科学数据变化进行追溯、确认、描述和记录保存的过程。

4.2 智能合约

智能合约是一种运行在区块链上的程序。智能合约的概念最早由密码学家Nick Szabo在1990年代提出，他将其定义为一种数字化的交易协议，其目的是以信息化的方式传达、验证或执行合同中的条款，能够为创建无需信任的交易环境提供了一种有效手段。智能合约在农业科学数据管理中的应用包括：①可以用于存储和管理农业科学数据。智能合约能够实现数据的追踪和溯源，从而提高数据的可信度。②在农业科学研究中，数据的所有权和使用权往往是关键问题。智能合约可以帮助明确数据的所有权，通过自动化执行合同条款，确保数据的合法使用和权益保护。③智能合约能够对农业科学数据进行有效管控，防止未授权访问和数据泄露。通过设置智能合约的权限管理，可以确保只有授权用户才能访问特定的数据集[27-30]。

5 基于区块链的农业科学数据可信溯源框架/ A blockchain based trustworthy traceability framework for agricultural scientific data

本文根据需求分析和理论基础，基于区块链技术设计了农业科学数据的可信溯源框架，需求分析是设计框架的必要前提，理论基础为本框架的设计提供理论依据。

区块链是一个创新框架，能够为农业科学数据的可追溯性提供变革性的解决方案。区块链技术的进步为实现农业科学数据溯源提供了一个现实可行的过程。王天柱等基于区块链设计了可信制造供应链溯源框架TMSCT，该框架包含感知层、链下存储层、区块链网络层、接口层以及应用层等五个层次[31]；向晓宇在基于区块链的可信溯源框架中将区块链的应用框架分为应用层、服务层及区块链层等三个层次[32]；M. Farooq [33] 等提出了一个基于区块链的小麦溯源框架，提出了界面层、应用层、业务逻辑层、信任层、区块链层、交易层、基础设施层、安全层及交易系统等八个层次的数据溯源框架，并开发了IPFS来提高数据可用性、安全性和透明度；张学旺[11]基于区块链的数据溯源可信查询方法中将区块链的溯源系统分为区块链层、溯源模型层、通用溯源业务层及应用层等四个层次；X . Liang [5] 提出了云数据溯源框架ProvChain，该框架在后来的数据溯源中被广泛应用。

已有研究对科学数据溯源提出了通用的一些框架，但专门的农业科学数据溯源框架（Framework for Reliable Traceability of Agricultural Science Data，FRTASD）研究的不多，所以，本文结合文献分析、相关理论及农业科学数据本身的特点基础上，提出了农业科学数据可信溯源框架。国外内学者们在进行框架构建时有的采用四层次结构，有的采用五层次结构，还有的采用八层次结构，考虑农业科学数据溯源的实际，倾向于学者M. Farooq、X. Liang及张学旺的研究思路，共同

点是将智能合约单列一层，以突出智能合约的驱动作用，在框架中占有重要地位，同时，结合农业科学数据的三个溯源主体，农业科研机构、农业数据科学家及农业科研人员，展开相应的数据服务。本文将农业科学数据溯源框架设计成四个层次，分别是基础设施层、区块链层、业务逻辑层及应用层。如图 1 所示。

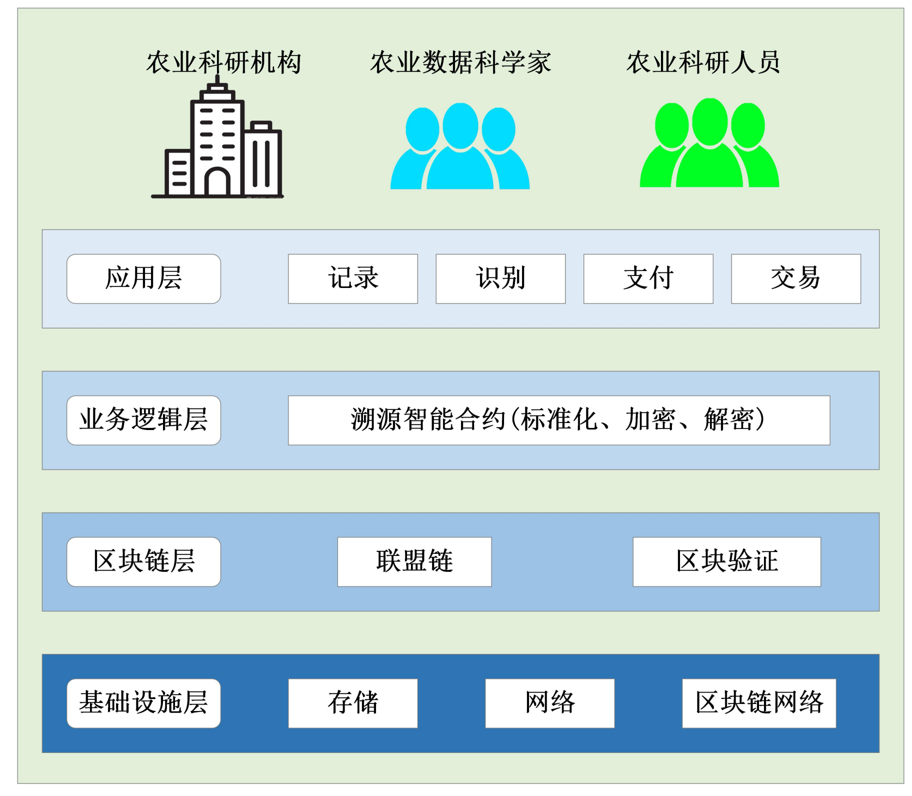


图 1 农业科学数据可信溯源框架（FRTASD）

Figure 1. Framework for reliable traceability of agricultural science data

（1）基础设施层

基础设施层是农业科学数据溯源的物理层，它由一个用于分发和验证的点对点的网络组成，包括农业科学数据存储、农业科学数据网络及农业科学数据区块链网络，旨在传输以太坊区块链的交易。交易完成后，会广播到网络中的所有节点，每个节点都会使用预先确定的参数对交易进行验证。然后，经过验证的交易被放到区块链中。基础设施层的建设在农业科学数据溯源属于源头建设，基础设施的完备性决定了农业科学数据溯源实现的可能性。

（2）区块链层

农业科学数据溯源的区块链层包括联盟链及区块验证，它的核心内容是保证农业科学数据存储的高效性和安全性，农业科学数据的存储主要是采用先进的技术手段，其中存储方法主要是数据融合和数据可视化的方法。存储技术主要包括区块链的关键技术，如分布式存储、时间戳、PBFT 共识机制、加密算法、数字签名等技术，IPFS 的分布式存储和哈希匹配技术等，提高农业科学数据的存储效率和安全。在该层，农业科学数据溯源用到最多的是联盟链，同时我们把区块验证单独列出来，该项主要完成用户的身份识别及在链上进行交易的准入机制。

（3）业务逻辑层

业务逻辑层负责系统的条款和规定，在这一层主要包括农业科学数据溯源的智能合约，这一层被视为农业智能合约的活动数据库，包括所有通信、合约和执行规则。智能合约包括农业科学数据标准化智能合约（简称标准化智能合约）、加密智能合约及解密智能合约等。业务层是整个农业科学数据溯源的驱动层，各种活动的实现都在这一层进行。

（4）应用层

农业科学数据溯源的应用层面对的是农业科学数据组织、农业科学家及农业科研人员。其执行的应用包括记录、识别、支付及交易。农业科学数据溯源需要多方的重视和共同参与，协同管理数据，强化管理决策，形成强大的科研合力。在应用层，主要包括用户和应用场景两个部分，在用户层面，主要考虑与农业科学数据有关的人员和利益相关反复，如农业科研人员、数据中心以及管理者。在应用场景中，主要有农业科学数据溯源、农业科学数据确权、农业科学数据共享和农业科学数据安全等场景，在协同理论的指导下，各方参与者共同合作，确保农业科学数据的价值最大化。

6 应用/ Application

6.1 数据来源

通过收集来自国家农业科学数据中心（https://www.agridata.cn/）、国家生态科学数据中心（http://www.nesdc.org.cn）、中国知网（CNKI）、国家科技资源共享服务平台（https://www.escience.org.cn）等网站有关水稻数据集、水稻科学数据论文等 120 条。这些数据文件大小在 30KB 到 507KB 之间。

6.2 系统配置

基于区块链的水稻科学数据溯源系统包括区块链系统、IPFS 系统和各个功能模块。系统的底层架构采用 Hyperledger Fabric，因为区块链平台需要运行在 Ubuntu 环境下，因此采用 VMware 虚拟机运行 Ubuntu 操作系统。Fabric 网络的运行、共识机制配置和测试、智能合约的安装和测试和实例化都在 Docker 容器环境中运行。Hyperledger Fabric 的 Chaincode 使用 go 语言编译。具体的系统开发环境配置表如表 1 所示。

表 1 系统环境配置表

Table 1 System environment configuration table

名称	用途	版本
VMware	虚拟机	16.2.3
Ubuntu	操作系统	16.04
Golang	Fabric 基础编码环境	1.20.4
Docker	区块链节点依赖的容器环境	18.09.7
Docker-compose	定义和运行多容器Docker的应用程序工具	1.8.0
Fabric	开源分布式账本	1.2
CouchDB	数据库	2.0
VSCode	前端 Web 开发编译器	1.61
Node.js	前端开发环境	V8.11.1

6.3 智能合约设计

面向科研人员或科学数据中心提供授权访问查询验证，要求在进行查询时需要对加密的 IPFS hash 密文进行解密才能得到原始的水稻科学数据溯源数据，最终得到查询结果，若想验证水稻科学数据溯源数据是否被篡改，需要将 IPFS 文件系统的溯源数据进行 sha256 加密获得 hash 值，并与区块链上存储的数据 hash 进行对比查看是否一致，若一致说明溯源数据没有被篡改，反之，则被篡改。其中验证合约如下表 2 所示。

表 2　水稻科学数据溯源数据验证合约

Table 2　Smart contract for rice science data provenance and data decryption

```
验证智能合约
Input:数据验证请求
Output：数据验证结果
begin
//节点 peer 发起 query 请求
If(function = = getagriData)
     if( !getState( id) &&innull(key))  //判断溯源 id 有效性以及授权密钥是否
为空
//获取文件地址哈希密文
          priIpfsEncryData : = string（traceinfo.EncryagriData）
//通过授权密钥解密 AES 密文
          ipfshash, err := decryptAES(priIpfsEncryData, Key)
return ipfshash
//从 IPFS 中获取水稻科学数据溯源数据
       agridata,err := sh.cat(ipfshash)
returnagridata
//获取区块水稻溯源数据的 hash
blockagrihash=string (ProvObj.Sha256agriData)
    //获取当前水稻科学数据溯源数据的 hash
agridatahash=sha256(agridata)
    //将区块链存储的 hash 与当前数据 hash 比较
if(blockagrihash= =agridatahash)
return true
returndataError;
```

6.4 水稻溯源系统

科研人员在客户端使用 SDK 接口调用相应的 API 进行数据交互，对分布式账本中的状态进行更新操作。使用 Save 函数调用链码，自动执行科研人员在水稻科学研究过程中形成的文字、表格、图片、影像资料等数据的上链存储。对数据对象在生命周期内各个环节的操作行为进行记录，并按照时间先后的顺序形成水稻科学数据溯源链，通过溯源链记录数据上链、更新数据、数据对象的详细信息、数据活动时间信息、代理信息等写入区块链中。通过实现水稻科学数据集的存储，从而实

现水稻科学数据的确权。

用户在上传数据后会生成唯一的数据 ID，还包括数据名称、数据来源，上链时间等信息，其中数据 hash 确保了该水稻科学数据的唯一性和不可篡改性。该系统通过区块链技术为水稻科学数据的安全提供保障，有效保护该数据的完整性。水稻科学数据存储的界面如图 2 所示。



序号	数据ID	数据集名称	数据 hash	IPFS 密文	来源	时间
1	sdsj20231001	2015年中国东北水稻种植分布数据	8af0e284d411d7980a6f5156fd1a7bae02fbc5748dc1cd787900285ea38a2ef0	ee327a17f717c299e78b59fef1c0cb59b4352da2f326449b91d7aa4f0a6c87a381436c73a632bbf47956c79e58d3289c	国家生态科学数据中心	2023-10-01 15:34:24
2	sdsj20231008	水稻图像数据集	d821f976b15c90aa170975d1591f611937f9a09ccc917e9ac6bbbd73c43b56c4	68afef9f880f1373bbed7974158aea91ef3a3702cf4d5f9a9a8a09591af63e7b96b10d7916c8c25d02c893f290f1cf7f	国家基础学科公共科学数据中心	2023-10-08 16:24:02
3	sdsj20231101	盘锦稻田碳水通量2018-2020年数据集	0308f2ba1bd72489b92df16d8c0710c976a2f51d4b069842925c1ffaa625971a	3da3251dc3ca11358e67ce7790d026d715a7298576b3023868c7dad683a9d36ba9fc7a30871549b074fc1911c80f5c20	国家生态科学数据中心	2023-11-01 10:23:17
4	sdsj20231109	2023年南京农业病虫害图像识别数据集	03ca038bbd92804912e10a6483d19e4141655c321cd0e2b98875ac55f8516f7c	68afef9f880f1373bbed7974158aea91ef3a3702cf4d5f9a9a8a09591af63e7b96b10d7916c8c25d02c893f290f1cf7f	中国知网	2023-11-09 22:34:15

图 2 水稻科学数据溯源数据存储系统

Figure 2. Data storage system for rice science data traceability

6.5 结果验证

水稻科学数据溯源包括安全存储、查询和结果验证，由于结果验证是农业科学数据可信溯源的核心内容，本文着重阐述结果验证环节。水稻科学数据溯源数据的验证是通过比较由重新计算水稻科学数据溯源数据产生的 hash 值与区块链上的存储的 hash 值，以验证该溯源数据是否被篡改。首先，考虑正常的水稻科学数据未被篡改的情况下，查询该数据 ID，可以得到区块链存储数据的 hash 值，并对区块链中存储的 IPFS 密文解密得到 IPFS hash，获取原始的溯源数据，并对原始的溯源数据进行哈希计算，比较区块链上的 hash 值和当前计算的 hash 值，最终的验证结果为数据未篡改。同时，考虑到异常的链下的水稻科学溯源数据被篡改的情况，当溯源数据被篡改后，IPFS 文件系统中的 IPFS hash 会发生变化，导致密文解密的 IPFS hash 不一致，查询不到 IPFS 中的溯源数据，最终数据 hash 为空值，系统页面得到验证结果为溯源数据被篡改，说明此溯源数据不是真实可信的。

（1）正常结果验证

水稻科学数据溯源数据的验证是通过比较由重新计算水稻科学数据溯源数据产生的 hash 值与区块链上的存储的 hash 值，以验证该溯源数据是否被篡改。首先，考虑正常的水稻科学数据未被篡改的情况下，如图 3 所示。查询该数据 ID，可以得

到区块链存储数据的 hash 值，并对区块链中存储的 IPFS 密文解密得到 IPFS hash，获取原始的溯源数据，并对原始的溯源数据进行哈希计算，比较区块链上的 hash 值和当前计算的 hash 值，都为 8af0e284d411d7980a6f5156fd1a7bae02fbc5748dc1cd787900285ea38a2ef0，最终的验证结果为数据未篡改。



图 3 水稻科学数据溯源数据的验证

Figure 3 Verification of rice scientific data provenance data

（2）异常结果验证

考虑到异常情况下，链下的水稻科学溯源数据被篡改的情况，当溯源数据被篡改后，IPFS 文件系统中的 IPFS hash 会发生变化，导致密文解密的 IPFS hash 不一致，查询不到 IPFS 中的溯源数据，最终数据 hash 为空值，系统页面得到验证结果为溯源数据被篡改，说明此溯源数据不是真实可信的。异常水稻科学数据溯源数据的验证如图 4 所示。



图 4 异常水稻科学数据溯源数据的验证

Figure 4 Verification of abnormal rice scientific data provenance data

7 结语/ Summary

农业科学数据溯源有利于提升农业科学数据质量，解决农业科学数据权属问题，调动科研人员积极性及增加农业科学数据的复用，实现农业科学数据的增值，促进农业科技发展的进步。本文基于区块链技术，利用农业科学数据溯源理论、联盟链及智能合约等理论解决农业科学数据溯源中安全存储和数据可信问题，提出农业科学数据可信溯源框架，该研究框架从概念上设计了基于区块链的农业科学数据溯源的机制，重点阐述了区块链在农业科学数据溯源中的应用，在前人研究的基础上，结合农业科学数据自身的特点，在具体农业科学数据溯源应用中作为研究思路框架有一定的参考意义，同时，在水稻作物上进行了区块链的溯源应用。

此外，本文只是采用了区块链技术，还需要其他信息技术的支撑，如隐私计算技术及信息安全技术等，未来需要结合其他信息技术进行综合性的技术融合、数据融合以及智能技术融合，从而实现全方位、综合性的农业科学数据可信溯源系统。同时，对于农业科学数据溯源场景化应用将是未来研究的一个方向，只有将技术进一步的应用于农业科学数据溯源的具体场景中，才能体现其研究的价值。

参考文献/ References：

[1] 朱佳丽,李涵昱,钱力,等.可信数字学术的涵义及实现框架研究[J].中国图书馆学报, 2024, 50(05):102-113. (ZHU J L, LI H Y, QIAN L, et al. The definition, connotation and implementation framework of trusted digital scholarship[J]. Journal of library science in China, 2024,50(05):102-113.)

[2] RAMACHANDRAN A, KANTARCIOGLU M. Smart provenance: a distributed, block-chain based data provenance system[C]//Proceedings of the Eighth ACM conference on data and application security and privacy. Tempe AZ USA: ACM, 2018: 35-42.

[3] DEDEOGLU V, JURDAK R, PUTRA G D, et al. A trust architecture for blockchain in IOT[C]//Proceedings of the 16th EAI international conference on mobile and ubiqui tous systems: computing, networking and services. Houston Texas USA: ACM, 2019: 190-199.

[4] CAO L, ZHAO S, GAO Z, et al. Cross-chain data provenance mechanism for cross-domain access[J]. The journal of supercomputing, 2023, 79(5): 4944-4961.

[5] LIANG X, SHETTY S, TOSH D, et al. Provchain: a blockchain-based data provenanc e architecture in a cloud environment with enhanced privacy and availability[C]// 2017 17th IEEE/ACM international symposium on cluster, cloud, and grid computing (CCGRID). Madrid, Spain: IEEE, 2017: 468-477.

[6] ALI S, WANG G, BHUIYAN M Z A, et al. Secure data provenance in cloud-centric internet of things via blockchain smart contracts[C]//2018 IEEE smart world, ubiquitous intelligence & computing, advanced & trusted computing, scalable computing & communications, cloud & big data computing, internet of people, and smart city innovation. Guangzhou, China: IEEE, 2018: 991-998.

[7] 徐堃, 付印金, 陈卫卫等. 基于区块链的云存储安全研究进展[J]. 计算机科学, 2021, 48(11): 102-115. (XU K, FU Y J, CHEN W W, et al. Research progress on block-chain based cloud storage security mechanism[J]. Computer science,2021, 48(11): 102-115.)

[8] 魏银珍, 邓仲华, 关玉蓉等. 一种基于区块链与智能合约的科学数据安全溯源方法[J]. 现代情报, 2021, 41(1): 32-38. (WEI Y Z, DENG Z H, GUAN Y R, et al. A method of secure scientific data provenance based on blockchain and smart contracts[J]. Journal of modern information,2021, 41(1): 32-38.)

[9] 赵丽梅. 基于区块链理念的科学数据溯源研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(23): 200-204. (ZHAO L M. Study on the scientific data traceability in the perspective of blockchain[J]. Science and technology management research,2021, 41(23): 200-204.)

[10] 刘海鸥, 何旭涛, 李凯等. 区块链数据溯源机制研究综述[J]. 情报杂志, 2022, 41(7): 100-106+40. (LIU H O, HE X T, LI K, et al. A literature review of blockchain traceability mechanism[J]. Journal of intelligence,2022,41(7): 100-106+40.)

[11] 张学旺, 冯家琦, 殷梓杰等. 基于区块链的数据溯源可信查询方法[J]. 应用科学学报, 2021, 39(1): 42-54. (ZHANG X W, FENG J Q, YIN Z J, et al. Trusted query method for data provenance based on blockchain[J]. Journal of applied sciences, 2021, 39(1): 42-54.)

[12] REN W, WAN X, GAN P. A double-blockchain solution for agricultural sampled data security in internet of things network[J]. Future generation computer systems, 2021, 117: 453-461.

[13] YANG S, LI S, CHEN W, et al. A redactable blockchain-based data management scheme for agricultural product traceability[J]. Sensors, 2024, 24(5): 1667.
[14] GRIFFIN T, HARRIS K, WARD J, et al. Three digital agriculture problems in cotton solved by distributed ledger technology[J]. Applied economic perspectives and policy, 2022, 44(1): 237-252.
[15] TORKY M. Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: analysis, opportunities, and challenges[J]. Computers and electronics in agriculture, 2020, 178(1).
[16] DEMESTICHAS K, PEPPES N, ALEXAKIS T, et al. Blockchain in agriculture traceability systems: a review[J]. Applied sciences, 2020, 10(12):4113.
[17] 陈林蔚.区块链技术在智慧农业领域中的应用[J].江苏农业学报,2023,39(06):1358-1365. (CHEN L W. The application of blockchain technology in smart agriculture[J]. Jiang su journal of agricultural sciences,2023,39(06):1358-1365.)
[18] 李阳,赵启阳,何云,等.基于区块链的热带作物种质资源溯源技术研究[J].热带农业科学,2023,43(08):37-42. (LI Y, ZHAO Q Y, HE Y, et al. Research on traceability technology of tropical crop germplasm resources based on blockchain[J]. Chinese journal of tropical agriculture,2023,43(08):37-42.)
[19] 许继平,韩佳琪,张新,等.基于可信区块链和可信标识的粮油质量安全溯源研究[J].食品科学,2023,44(03):48-59. (XU J P, HAN J Q, ZHANG X, et al. Quality and safety traceability of grains and oils based on trusted blockchain and trusted identity [J]. Food science,2023,44(03):48-59.)
[20] 朱艳华，高瑜蔚，胡良霖，等．我国科学数据标准规范实践与思考[J]．中国科学数据（中英文网络版），2023，8(1)：165-174．(ZHU Y H, GAO Y W, HU L L, et al. Practice and thinking of scientific data standard in China[J]. China scientific data, 2023, 8(1): 165-174.)
[21] 刘茜.大数据背景下的农业科学数据共享研究[J].农业展望，2016，12(7)：55-58．(LIU Q. Agricultural scientific data sharing under the background of big data[J]. Agricultural outlook, 2016, 12(7): 55-58.)
[22] 吴定峰，刘婷婷，王剑等.动态信任管理模型在农业科学数据安全领域的应用探索[J].农业图书情报学报，2020，32(10)：16-24．(WU D F, LIU T T, WANG J, et al. Applications of dynamic trust management model in agricultural scientific data security [J].Journal of library and information science in agriculture,2020, 32(10): 16-24.)
[23] 于成丽,张阳,贾世杰.云环境中数据安全威胁与防护关键技术研究[J].信息网络安全,2022,22(7): 55-63. (YU C L, ZHANG Y, JIA S J. Research on data security threats a nd protection of key technologies in cloud environment[J]. Netinfo security,2022,22(7): 55-63.)
[24] 明华，张勇，符小辉．数据溯源技术综述[J]．小型微型计算机系统，2012，33(9)：1917 -1923. (Ming H, Zhang Y, Fu X. Survey of data provenance[J]. Journal of Chinese computer systems,2012, 33(9): 1917-1923.)
[25] 戴超凡，王涛，张鹏程．数据起源技术发展研究综述[J]．计算机应用研究，2010，27(9)：3215-3221. (DAI C F, WANG T, ZHANG P C. Survey of data provenance technique [J]. Application research of computers, 2010, 27(9): 3215-3221.)
[26] 王芳，赵洪，马嘉悦等．数据科学视角下数据溯源研究与实践进展[J]．中国图书馆学报，2019，45(5)：79-100. (WANG F, ZHAO H, MA J Y. Research and practice progress o

f data provenance from the perspective of data science[J]. Journal of library science in China, 2019, 45(5): 79-100.)
[27] XU J, GUO S, XIE D, et al. Blockchain: a new safeguard for agrifoods[J]. Artificial intelligence in agriculture, 2020, 4：153-161.
[28] KASSANUK T, PHASINAM K. Design of blockchain based smart agriculture framework to ensure safety and security[J]. Materials Today: proceedings, 2022，51：2313-2316.
[29] JAMIL F, IBRAHIM M, ULLAH I, et al. Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IOT blockchain network in agriculture[J]. Computers and electronics in agriculture, 2022, 192:106573.
[30] CAO S, POWELL W, FOTH M, et al. Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism[J]. Computers and electronics in agriculture, 2021, 180:105886.
[31] 王天柱,李凌,彭志辰,等.基于区块链的可信制造供应链溯源框架设计[J].计算机应用研究,2024,41(05):1308-1313. (WANG T Z, LI L, PENG Z Z. Design of blockchain-based trusted manufacturing supply chain traceability framework[J]. Application research of computer,2024,41(05):1308-1313.)
[32] 向晓宇. 基于区块链的溯源理论研究与应用实现[D].广州大学,2022. (XIANG X Y. Theoretical research and application realization of traceability based on blockchain[D]. Guangzhou University,2022.)
[33] FAROOQ M, ANSARI Z, ALVI A, et al. Blockchain based transparent and reliable framework for wheat crop supply chain[J]. PLOS one, 2024, 19(1): e0295036.

作者贡献说明/Author contributions：

陆丽娜：总体设计与定稿；
尹丽红：论文撰写、案例收集与分析；
于啸：技术指导与系统设计；
张文韬：资料收集。

Research on The Construction And Application of Trusted Traceability Framework For Agricultural Scientific Data

Lu Li-na[1], Yin Li-hong[1], Yu Xiao [2], Zhang wentao[1]
1. Business School, Shandong University of Technology, Zibo,255000, China;
2. School of Computer Science and Technology, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China

Abstract:【Objective/Significance 】In order to comply with the trend of high-quality management of agricultural scientific data, and to ensure the transparency and trustworthiness of agricultural scientific data traceability, a conceptual framework of blockchain-based trusted traceability of agricultural scientific data is constructed. 【Method/Process】 A four-layer framework of trusted traceability for agricultural science data, FRTASD, was constructed based on the current requirements of trusted traceability and related theories. 【Result/Conclusion】This framework logically

provides a new research idea for the reliable traceability of agricultural scientific data. At the same time, an attempt is made for the reliable traceability of rice scientific data through the investigation of agricultural scientific research websites.
Key words: blockchain; Agricultural science data; Data traceability; Traceability model; frame

This work is supported by the National Social Science Foundation of China project titled " Research on Agricultural Science Data Governance Mechanism and Implementation Path in Digital Intelligence Innovation Ecosystems"
(Grant No. 24BTQ031).
Author(s): Lu Lina, professor, PhD, master supervisor; Yin Lihong, master candidate; Yu Xiao, associate professor, PhD, master supervisor, corresponding author, E-mail: 3050651@qq.com; Zhang Wentao, master candidate.